

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-128742

(43)公開日 平成6年(1994)5月10日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

C 2 3 C 14/34

U 9046-4K

審査請求 未請求 請求項の数38(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-92503

(22)出願日 平成4年(1992)4月13日

(31)優先権主張番号 01095/91-1

(32)優先日 1991年4月12日

(33)優先権主張国 スイス(CH)

(71)出願人 590000031

バルツェルス アクチェンゲゼルシャフト
 リヒテンシュタイン国, エフェル 9496
 バルツェルス (番地なし)

(72)発明者 エドゥアルド キューグラ

オーストリア国, 6807 フレドキルフーテ
 ィジス, キルフベグ 8

(74)代理人 弁理士 青木 朗 (外4名)

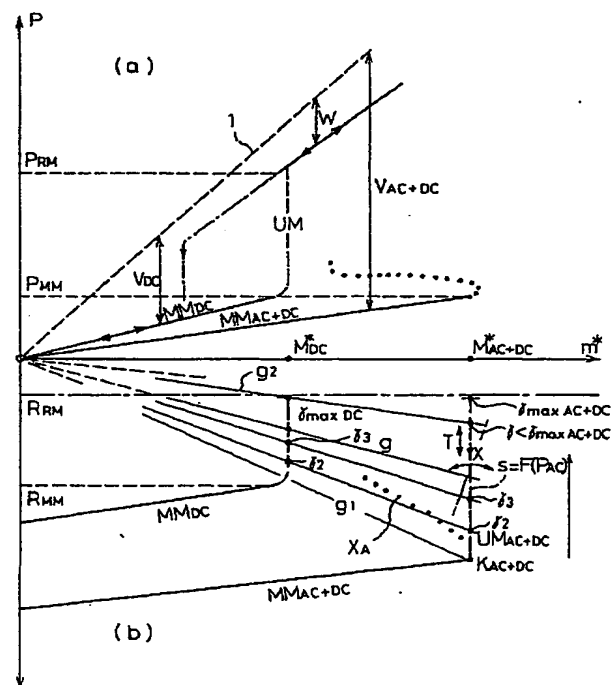
(54)【発明の名称】 物体上に膜を形成する成膜方法および装置

(57)【要約】

【目的】 物体上に膜を形成する成膜方法および装置に関し、直流及び交流を用いたグロー放電の作用により噴霧効率を向上されることを目的とする。

【構成】 少なくとも一つの膜で少なくとも一つの物体を被う成膜方法において、オーミック導電性の試料が直流および重畳する交流を用いて作動されるグロー放電内で噴霧され、噴霧された試料が試料および加工材の間の空間で気体と反応し、加工材に堆積し、成膜処理が金属モードと反応モードの間の不安定な推移モードで実行され、前記膜は試料の素材よりも低い導電性を有するように構成する。

本発明の装置の品質的な工程特性曲線



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一つの膜で少なくとも一つの物体を被う成膜方法において、オーミック導電性の試料が直流および重畳する交流を用いて作動するグロー放電内で噴霧され、噴霧された試料が試料と加工材の間の空間で気体と反応し、加工材に堆積し、成膜処理が金属モードと反応モードの間の不安定な推移モードで実行され、前記膜は試料の素材よりも低い導電性を有する成膜方法。

【請求項2】 無反応で堆積される試料素材の膜の膜堆積に使用された噴霧エネルギーあたりの膜体積と、使用された噴霧エネルギーあたりの膜の膜体積から決定されるエネルギーとの比率が、比率 >1 を満たすことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 交流が中間周波数帯域の 50 Hz から 250 kHz （両数値含む）の間の、とくに 10 kHz から 200 kHz の間（両数値含む）の出力を支配するスペクトル部分を発生することを特徴とする、特許請求項1ないし2の1つに記載の方法。

【請求項4】 前記処理が不安定な推移モードにおいて制御系によって安定化されることを特徴とする、特許請求項1から3までの1つに記載の方法。

【請求項5】 前記成膜処理が推移モードにおいて金属モードに推移する近くで安定化することを特徴とする、特許請求項1ないし4の1つに記載の方法。

【請求項6】 制御回路における調整値として直流信号ないし交流信号の周波数ないし振幅が設定され、交流出力に対する直流出力の比率ないし反応気体主流、その際にIST値検査が光学的方法で実行され、とくにプラズマ発光の吸収ないし放射ないし蛍光線観測によって、もしくは放電インピーダンスもしくは気体分圧の検査によって実行され、さらにBalzers AG社により販売されているBalzer/FLのようなプラズマモニターを用いて実行されることを特徴とする、請求項1ないし5の1つに記載の方法。

【請求項7】 処理の作用点が測定技術によって、IST状態またはIST値として検査され、SOLL状態またはSOLL値と比較され、比較結果に依存する少なくとも一つの調整成分を介して処理に影響を及ぼすこと、開かれた制御回路による増幅が実質的に1より大きく、少なくとも妨害値の妨害値周波数までであり、妨害値は処理に影響を及ぼしてその作用点を実質的に影響を及ぼすものであることを特徴とする請求項1ないし6の1つに記載の方法。

【請求項8】 成膜が追加的に後から反応されることを特徴とする請求項2ないし7の1つに記載の方法。

【請求項9】 後からの反応が、気体中で追加的に供給されるエネルギーである光及びその部分、イオンまたは電子エネルギー、熱エネルギー、プラズマエネルギー、マイクロ波ないしHFエネルギーによって支えられ、か

つ前記ないし1つのグロー放電内または外で実行されることを特徴とする、請求項8に記載の方法。

【請求項10】 前記成膜すべき物体が静止状態に保たれ、または少なくとも時間的に移動されることを特徴とする請求項1ないし9の1つに記載の方法。

【請求項11】 前記物体が回転軌道上を、交流の支配的スペクトル部分より実質的に低い回転周波数、特に回転周波数 $\leq 1\text{ Hz}$ を満たす回転周波数で動かされることを特徴とする請求項1ないし10の1つに記載の方法。

【請求項12】 金属モードと反応モードの間で処理特性曲線が交流部分によって制御され、とくに水平化されることを特徴とする、請求項1ないし11の1つに記載の方法。

【請求項13】 前記交流部分が少なくとも2つの周波数スペクトル曲線、または1つの一定のスペクトルを有することを特徴とする、請求項1ないし12の1つに記載の方法。

【請求項14】 前記交流部分が半導体を使用した発生器によって発生されることを特徴とする請求項1ないし13の1つに記載の方法。

【請求項15】 前記試料はSi化合物試料であることを特徴とする、請求項1ないし14の1つに記載の方法。

【請求項16】 前記試料は、 0.01 から $100\text{ }\Omega\text{ cm}$ （両数値含む）の導電性を有し、特に 0.01 から $1\text{ }\Omega\text{ cm}$ （両数値含む）の導電性を有することを特徴とする、請求項1ないし15の1つに記載の方法。

【請求項17】 前記試料が燐化合物試料、即ち、Si試料であり、単結晶状態で吸収または注入されることを特徴とする、請求項1ないし16の1つに記載の方法。

【請求項18】 前記試料がSiまたはAl試料であり、前記膜が Al_2O_3 または SiO_2 または Si_3N_4 膜であることを特徴とする、請求項1ないし17の1つに記載の方法。

【請求項19】 前記試料がSi試料等の燐化合物であり、かつ前記膜が SiO_2 であり、使用された金属噴霧エネルギーに関して堆積されたSi膜の膜体積と、使用された噴霧エネルギーあたりの膜体積によって決定される前記エネルギーとの活用比率が、前記請求項8に記載された後からの反応がない場合、活用比率 ≥ 1.2 を満たす値であることを特徴とする、請求項1ないし18の1つに記載の方法。

【請求項20】 前記請求項1から19の一つに記載された方法を実施するための成膜装置において、陰極に接続され、オーミック導電性のある試料構成体（12、14）と、陽極構成体（10、18）ならびに陽極および陰極構成体を介して陽極構成体および陰極構成体間にグロー放電を発生させる電源（16）と、物体運搬器（11）ならびに加工材（13）および試料構成体（14）間の空間A内に手段（22、28、32a）を介して期

待を供給する少なくとも一つの吸入構成体(20、32)とを備え、前記手段は前記成膜処理を不安定な推移モード内に保ち、その際に前記電源(16)は重畳する交流(AC)とともに直流(DC)を発生することを特徴とする前記装置。

【請求項21】 前記手段が処理のための高速制御回路を備えていることを特徴とする、請求項20に記載の装置。

【請求項22】 少なくとも一つの測定値検知器(22)が備えられ、この検知器が少なくとも一つの処理作用点と関連する測定値を検知すること、前記検知器の出力が比較ユニット(28)に送られ、この比較ユニットには条件ユニット(30)から前記測定値に対応したSOLL値(W)が送られること、前記比較ユニット

(Δ)の前記出力が、前記処理作用点に影響を及ぼす調整構成体(32a)に制御するように作用すること、そして周波数に対する開かれた制御回路の増幅が実質的に1より大きくなり、それによって作用点に影響を及ぼす妨害値(S)が処理に介入することを特徴とする、請求項20に記載の装置。

【請求項23】 前記電源(16)が、中間周波数帯域内の50Hzから250kHzまで(両数値含む)の、とくに10kHzから200kHzまで(両数値含む)の出力を支配するスペクトル部分を伴う交流(AC)を発生することを特徴とする、請求項20または21に記載の装置。

【請求項24】 作動作用点を設定するための反応気体に関する調整成分(16、32a)が、前記装置が不安定な推移モード(UM)において作動するように設定されていることを特徴とする、請求項20ないし23の1つに記載の装置。

【請求項25】 前記調整成分が、前記装置が金属モード(MM)の近くにおいて作動するように設定されていることを特徴とする、請求項24に記載の装置。

【請求項26】 前記装置が成膜を実行し、その際、試料素材から膜を形成するのに使用された噴霧エネルギーに対する形成された膜の体積と、使用された噴霧エネルギーあたりの膜の体積によって決定されるエネルギーとの活用比率が、活用比率 >1 を満たすように前記調整成分が設定されていること、その際、望ましくは前記試料が実質的にSiからなる試料であること、気体導入口

(20)が O_2 貯蔵庫に連結されていること、発生する SiO_2 膜が、エネルギー活用比率 ≥ 1.2 を満たすエネルギー活用比率を示すことを特徴とする、請求項24または25の1つに記載の装置。

【請求項27】 少なくとも一つの制御回路のIST値検知器として、光学的検知装置、とくに吸収装置、放射装置、蛍光スペクトル線観測装置、プラズマ検知装置または光検知装置、放電インピーダンス測定装置、分圧測定装置、販売上のプラズマモニター等が設けられている

ことを特徴とする、請求項20ないし29の1つに記載の装置。

【請求項28】 前記試料構成体(12、14)が燐化合物試料、特にSi試料を結晶状態または注ぎ込まれた状態で含むことを特徴とする、請求項20ないし27の1つに記載の装置。

【請求項29】 前記制御回路に、直流信号ないし、交流信号の出力ないし周波数ないし、直流および交流信号の出力比率ないし、反応気体主流のための、少なくとも一つの調整器(16、32a)が備えられていることを特徴とする、請求項20ないし28の1つに記載の装置。

【請求項30】 前記交流部分が半導体発生器を介して発生されることを特徴とする、請求項20ないし29の1つに記載の装置。

【請求項31】 前記運搬器は静止されているか、あるいは時間的に作動されることを特徴とする、請求項20ないし30の1つに記載の装置。

【請求項32】 前記交流信号(AC)の出力を支配するスペクトル部分の周波数より実質的に低く、回転周波数 ≤ 1 を満たす回転周波数(w)の回転推進力が前記運搬器(11)に作用することを特徴とする、請求項20ないし31の1つに記載の装置。

【請求項33】 さらにエネルギーを供給することによって、前記成膜を気体雰囲気下で後から反応させるため、前記陰極および陽極構成体から離された装置が備えられていることを特徴とする請求項20ないし32の1つに記載の装置。

【請求項34】 前記装置には、イオン源又はUV源又はレーザー装置のような手段、プラズマ源、電子源、光源、HFまたはマイクロ波送出器のような熱源が設けられていることを特徴とする、請求項33に記載の装置。

【請求項35】 前記試料素材(14)は、0.01から100 Ωcm (両数値含む)までの導電性を有し、0.01から1 Ωcm (両数値含む)までの導電性を有していることを特徴とする請求項20ないし33の1つに記載の装置。

【請求項36】 少なくとも一つの膜で少なくとも一つの物体を被う成膜方法において、前記膜の導電性が試料より低く、試料混入の影響を受ける処理不安定性を減少するために燐化合物試料が試料(12)として使用されていることを特徴とする方法。

【請求項37】 化合物Si試料が単結晶化されている、または注ぎ込まれている、前記請求項36に記載の方法。

【請求項38】 反応を用いたプラズマスパッタ成膜処理において、金属モード(MM)と反応モード(RM)間の推移を制御するための方法において、これらのモード間の前記処理特性直線($s = F(P_{AC})$)がプラズマ放電用の交流部分の調整によって設定されることを特徴

とする方法。

〔発明の詳細な説明〕

【0001】

〔産業上の利用分野〕本発明はとくに、少なくとも一つの物体上に一つの膜を成膜する方法において、オーミック導電性の試料がグロー放電状態内で噴霧され、噴霧された試料が試料と物体の間の空間で気体と反応し、物体上に反応された部分が堆積し、その際、成膜処理が金属モードと反応モードの間の不安定な推移モードであり、膜は試料素材よりも導電性が低く、極端な場合とくに絶縁性の膜である成膜方法および装置に関わる。

【0002】

〔従来の技術及び発明が解決しようとする課題〕文献 F. Vratny, J. Electrochem. Soc. の Solid State Science, 1967年5月、項目「積層 RF および DC スパッタリングによるタンタルおよびタンタル酸化物の堆積」(1) から、絶縁性の加工材膜が高周波噴霧によってグロー放電状態内で絶縁性の試料材を形成することは知られている。

【0003】また同項目から、同一目的で直流およびこれに重畳する高周波を用いて金属試料を噴霧し、噴霧された試料を気体と反応させて、成膜される物体上に絶縁性の膜を形成することも周知である。この項目では、本明細書の不可欠な構成要素について説明がなされており、噴霧に高周波部分を使用することによって、例えば金属試料上に絶縁膜として堆積する反応生成物が原因となって、絶縁破壊およびショートサーキットが生じるため、時間的な不規則性あるいは成膜量によって成膜処理が妨げられ、又は噴霧過程が完全に停止されるのを防止できることについて述べている。

【0004】上述した項目(1)によれば、直流および重畳される高周波信号を用いた噴霧における加工材の成膜効率は、純粋に直流のみを用いた場合より高い。高周波として、13.56 MHz の周波数が用いられている。これに関し、絶縁性試料のいわゆる高周波マグネトロン噴霧による絶縁性膜を用いた加工材の成膜は、Karel Urbanek, Solid State Technology, 1977年4月、項目「SiO₂ のマグネトロンスパッタリング、化学的蒸着堆積にかかわる方法」(2)に示されている。また、ここでも13.56 MHz の周波数を用いて処理が行われている。

【0005】金属性の試料板が直流噴霧され、噴霧された部分と気体の反応によって、絶縁性の成膜形成のために露出されるときに生じる問題については、上記の項目(1)において Vratny がすでに述べているが、DE-OS-25 13 216 に詳しく記載されている。本明細書の不可欠な構成要素について述べているこの公報では、オーミック導電性のない素材からなる試料の噴霧が行われるときに、高周波交流が噴霧に用いられ

ることが記述されている。

【0006】さらに、金属ないし導電性の試料についても噴霧効率を向上するために、高周波噴霧と直流電圧噴霧を重複させる可能性が生まれる。その際、いわゆるマグネトロン噴霧によって、噴霧効率を相応に向上させることができると説明されている。ここでもまた、すでに項目(1)で述べたように、噴霧のための交流信号の重畳によって、絶縁膜にあたる一汚染された一試料領域におけるアーク放電の発生が大幅に防止されている。処理は400 Hz から60 kHz の間の周波数によって行われている。

【0007】S. Schiller et al., Vortrag Zur International Conference on Metal Coating, San Diego/Cal., 1987年5月、Surface and Coating Technology 33 (1987) の項目「製造方法としての反応式 DC 高効率噴霧」(4)では、加工材に成膜するための反応を用いた直流噴霧に関して詳しく説明されている。その中ではとくに、そうした反応を用いた直流噴霧と成膜処理のヒステリシス関係が説明されている。

【0008】金属試料は直流(DC)噴霧され、反応する気体の主流は試料と成膜する加工材の間のグロー放電空間内で一定となるよう高められているため、上記

(1)から周知のとおり、噴霧効率が同時に少しだけ低下すると気体分圧が簡単に上昇する。この初期状態では、反応気体の消費はほとんど十分であるが、その後減少するため、気体の分圧は主流よりも、すなわち、時間単位あたりで工程室に導かれる反応気体量よりも、少ししか上昇しない。

【0009】この範囲内いわゆる金属モードにおいては、反応する DC 直流噴霧/成膜処理は安定している。上述した主流の限界値においては、反応する気体の分圧が実質的に高い値まで急激に上昇する。同時に、反応気体の消費量は急激に低い値となり、噴霧効率はきわめて低い値まで急激に降下する。この急降下する帯域が推移モードと呼ばれる。さらに工程室内の反応気体の主流を上昇させると、分圧は再び安定した特性曲線—反応モードに沿ったものとなり、また反応気体消費量およびこのときに実質的に低下する噴霧効率も同様である。DC 噴霧におけるこの関係についてさらに詳しく述べる。

【0010】上述した臨界値よりも反応気体主流が低い場合、試料によってほとんどの金属部分が噴霧され反応気体と反応するが、上述の臨界値を越えた場合、決定的な試料の汚染が生じる、すなわち導電性ないし金属の試料が、少なくとも部分的に低導電性ないし絶縁性を有するような状態で成膜され、わずかな金属部分しか噴霧されず、反応気体の消費も少なくなり、したがってその反応気体の分圧が決定的に上昇する。噴霧効率は急激に降下する。反応気体の主流を減少する場合、反応モードを

始点として処理は急激に金属モードに戻るが、明確なヒステシス関係を伴う。

【0011】この項目(4)によれば、本明細書の不可欠な部分と同様に、すでにVratnyの(1)から知られているとおり、反応気体分圧の増加にともなって噴霧効率が減少し、異なる別の結合 Me_xR_y の反応比 $\mu=y/x$ は反応気体分圧の増加にともなって減少することがさらに知られている。高い効率で絶縁性の膜を析出しようとする場合、加工材の近傍でDCグロー放電において高いプラズマ濃度を用いる一方、通常では推移モードにおいて処理を行う必要があることが項目(4)において推論されている。

【0012】項目(4)では、外部の高速制御系を用いて、不安定帯域すなわち上述の推移モードで直流処理がどのように安定化できるのかについて措置が論及されており、とくに制御系にはIST値エンコーダー兼デコーダーとしてプラズマ放電モニター(PEM)が設けられ、調整を担う構成要素として、反応気体主流を調整する高速作動弁上に組み込まれている。

【0013】項目(4)と同じ著者S. Schiller自身による、真空ウェブ成膜についての第3回国際会議、サンアントニオ・テキサス、1989年11月からの項目「真空ウェブ成膜におけるシリコン酸化堆積の可能性」他(5)においては、金属試料の反応する直流噴霧において、所望の高酸化率を実現する場合、成膜効率が小さくなること、産業利用としてはまったく考慮されないことについて詳しく論及されている。絶縁性試料-SiO₂試料-の高周波噴霧に関しては、極端に高い高周波出力が必要となり、また対応する製造装置の費用も高くなるため、高周波ダイオード噴霧は考慮対象にならないことがわかる。

【0014】絶縁膜-SiO_x-を用いて加工材に成膜するための開発は、絶縁性試料の電子線気化方法に向けられるべきであることが項目(5)から推論される。文献US-A-4 851 095から周知の方法では、実際に、項目(4)がさらに示唆しているような「反応式DC高効率噴霧」が推論されており、すなわち最初の作用帯域において比較的に低い反応気体分圧を用いてDC噴霧により加工材に成膜を行い、第2の作用帯域においては、上述の比較的に低い分圧に基づくと不十分で低い成膜反応度 μ が、高い反応気体分圧において後から反応が行われ、噴霧処理に設定された任意の値でこの反応度が反転して反応モードとなる。この際、加工材は費用のかかる高速回転運動によって上述の作用帯域を通じて動かされる。

【0015】費用のかかる機械構造とともに、この措置では、とりわけ成長する膜に関して強く時間的な化学量論交換が必要となる欠点がある。すでに(1)からわかっているが、文献EP-A-0 347 567によれば直流および高周波電流を用いて噴霧を行い、金属モ-

ドにおける処理作用点の基本安定性、すなわち推移モードからの「間隔」を長くすることは周知である。その際、放電における電氣的陰極電圧/陰極電流の特性曲線に注意する。

【0016】本発明の目的は、冒頭で述べた種類の方法を提供することであり、その方法は以下の点で従来技術と異なる。a) 少なくとも実質的に化学量が均質となる成膜を行い、b) これを高い成膜効率で行い、c) 取り付けるべき噴霧出力に関しては、できる限り優れた作用効率で、また反応気体の利用および装置費用で行うことである。

【0017】

【課題を解決するための手段及び作用】本発明による措置では、以下の組み合わせにより、直流およびこれに重畳される交流によってグロー放電を実行すること、と不安定な推移モードで成膜処理を実行することにより、予期できないほどの非あるいは低導電性の膜を高い反応度 μ で物体上に形成でき、使用された噴霧エネルギーあたりの無反応で形成される金属膜の膜体積に対する、使用された噴霧エネルギーあたりの形成される膜体積によって決定される優れたエネルギー活用度をもって、さらに高い成膜効率で膜が形成されており、したがって上述の措置は効率の良い商業的生産に適することを特徴としている。

【0018】高い反応度 μ における推移モードにおいて高い成膜効率を達成できるのは、おそらく、後述するように少なくとも本発明の措置では、推移モードが推論される周知の経過から外れ、少なくとも部分的に推移モードにおいては反応気体の主流の増加にともなって噴霧効率が増加し、その際、反応気体の分圧が少なくとも部分的に実質上一定に維持されることに基づいている。

【0019】以下に、もっとも望ましい方法について述べる。この方法によれば、本発明による推移モードでの膜形成においては、反応を用いない金属膜の達成の場合よりも高いエネルギー活用が目標とされている。EP-A-0 416 241から、物体の成膜方法が知られており、この方法ではオーミック導電性の試料がグロー放電内で噴霧され、噴霧された部分を試料と加工材の間の空間で気体と反応させ、加工材上に堆積する。上述した方法を実施するための構成が推定上では全般的に安定状態で進められ、そして高い成膜効率および膜品質を得るため、特別に形成された構成について記載されている。

【0020】前述の周知の方法について、グロー放電は同様に直流、交流または両方で作動されるものとして記載されている。その際、交流信号として高周波信号が用いられる。これに対し、本発明によればグロー放電の供給電源として直流および交流を組み合わせたものを用い、そして推移モードにおける作動を用いて、周知のとおりにDC噴霧の際に生じるような問題を解決しており、

そしてこれには純粋に交流（Hf）グロー放電作動の場合よりもずっと少ない交流信号作動のみが必要とされることが明かである。

【0021】本発明による直流および交流を用いたグロー放電の作用によって噴霧効率は向上され、また設定された電気出力ないし反応気体の主流に依存する作用度は最適化されている。また同時にこれによって、とくに金属モードの近傍において、実質的に成膜反応度 μ が高い値に達しており、もっとも作用度が高い場合でも、直流出力の10から80%、望ましくは10から50%の交流出力を追加して供給するだけで高い反応度が達成される。

【0022】上述のように、顕著な結果として、高い成膜効率と優れた作用度により推移モード作動中に化学量論的に均質な膜を得ることができ、新規な技術および方法で、少なくとも本発明による作動においては上述した推移モードで、少なくとも一つの帯域および、とくに広い帯域にわたって、反応気体の主流の増加にともなって噴霧効率が増加し、これらの帯域において反応気体の分圧が反応気体主流の関数として実質的に一定のまま維持される。

【0023】とくに、中間周波数帯域において好ましくは50Hzから250kHz（両数を含む）の間で、とくに望ましくは10kHzから200kHz（両数を含む）の間で、出力の強い支配的なスペクトル部分を生じよう交流部分が発生され、その際、また周波数を50Hzから500Hzの範囲内に設定し、あるいは10Hzまでにすることも可能である。前記周波数は、技術面で大きな費用を必要とせず供給できるものであり、とくに高周波に比べると費用はかなり少ない。

【0024】支配的なスペクトル部分が上述の周波数帯域に存在するという事は、すなわち、あらゆる交流信号のひずみにおいて、とくに場合によっては重複した低い周波数を有する部分をともなう矩形パルスにおけるように、高いスペクトル部分や低いスペクトル部分が交流信号によって準備できることを意味している。さらに本発明によれば、交流および直流噴霧の使用によって、直流に関する項目「反応式DC高率噴霧」から周知であるとおり、ヒステリシスが高反応気体主流帯域にまで上昇され、金属モードも推移モードも反応気体分圧帯域に存在し、その際、直流噴霧とは反対に、高い反応度と同時に少なくとも同一の噴霧効率および成膜効率が達成される。

【0025】また金属モードから反応モードへの推移は、状態ないし経過に依存するが、使用する交流信号、その出力ないし周波数によって設定できることがわかる。なお、処理期間は不安定な推移モードにおいて、望ましくは金属モード付近で、望ましくは制御によって安定化され、また、加えて直流噴霧の場合に得られるより噴霧効率が高くても、急激に高い反応度を高い噴霧効率

および成膜効率で達成することができるようになっている。

【0026】処理作用点を不安定な特性曲線上のいずれの点においても、場合によっては反応モードの近くにおいても、実質的にその経過から独立して安定させるには、特許請求の範囲第7項に記載されている制御を行うことが考慮される。これによって、作用点が金属モードあるいは反応モード内にずれ込むことが防止される。そのため、周知のようにSOLL値基準値と比較ユニットに戻されたIST値との伝達が重要であり、比較ユニットへの戻りは誇張されていないが、上述の特許請求の範囲に詳しく述べられているように、開いた制御回路の増幅が確保されており、また上述した処理作用点は、作用点に関連する短時間の妨害値によって、またそうした妨害値の影響が即座に制御されなくても、ずれ込まずに続いている。したがって、本発明によれば処理作用点を安定したものとして確実に固定できる。

【0027】純粋な交流噴霧については、S. Berg et al. の項目（8、9）「化合物の反応式スパッタリングのモデリング」J. Vac. Sci. Technol. A5（2）、1987と「反応式スパッタリングの処理モデリング」J. Vac. Sci. Technol. A7（3）、1989年6月とにおける反応を用いた噴霧処理のモデリングが挙げられ、これらの論文では、複雑な処理関係を説明するにあたり本明細書にとって不可欠な要素が説明されている。

【0028】さらに「日本国特許概要」第12巻、No. 353（C-530）（3200）1988年9月21日およびJP、A、63 111 173（ANELVACORP）1988年5月16日（概要を参照）が挙げられる。また、さらに望ましくは、作用度を上げるために試料を磁力噴霧すること、すなわち周知の技術と方法を用い磁界によって試料のプラズマ濃度を上げることが提案される。

【0029】本発明の措置によれば、上述のように、推移モードでの作動により化学量論に基づく膜を形成することが可能であり、これをきわめて高い成膜効率で実行できる。しかし反応度 μ が高く $\mu < 1$ の場合にも成膜効率を上げるには、場合によって特許請求の範囲8の記載に基づく実施が提案される。プラズマを用いて導電性の低い試料を反応式AC+DC噴霧する場合、その導電性を向上するために他の元素が組み込まれているような場合、とくにSiが試料である場合、燐との元素の組み込み傾向はわずかしかなこと、汚染された試料に関し、火花連絡およびしみ現象が生じ、他の元素の組み込まれた試料より高い出力で処理を行っても、反応モードで平衡を失って傾いたりしないことが認識される。

【0030】試料、とくに本発明で使用するSi試料は、0.01から100 Ω cmの導電性を示すものであれば望ましく、0.01から1 Ω cmであればさらに望

ましい。物体ないし加工材を素早く動かすことは考慮されない。ただし、処理ないしさらに詳しくは後述する後から行う反応における加工材のゆっくりとした運動、たとえば回転速度 $<1\text{ Hz}$ を満たし、たとえば 0.5 Hz より高い運動は、好ましいものとして考慮される。

【0031】本発明の措置によれば、品質的に高い要求を満足し、導電性が低く絶縁性を示す膜を形成するための技術を利用することが可能であり、従って、以前は利用範囲が広い点また経済的な利点から蒸着法のみによって、また噴霧技術と比べ自動化された産業生産にずっと適さないような方法によって可能であった光学的利用についても可能となっている。

【0032】

【実施例】以下、本発明について具体的に図面を参照して説明を行う。図1には、まず本発明の措置が、導電性ないし金属資料の反応式噴霧を用いた、絶縁膜の成膜工程の純粋に品質的な面を示すヒステリシス経過を観察することによって示されている。

【0033】これらはまず周知の経過を基本とするものであり、すでに簡単に実施できるものである。次に、本発明の措置によって得られる、別の経過について説明するが、この措置は本発明に採用されている利点を理解する上で有効なものとなる。(a)では、軸上に噴霧される試料と加工材の間の処理空間における「反応気体の主流」 m^* 、反応気体分圧 p が品質的な面から表されている。処理室内のグロー放電を維持せずに、すなわち成膜処理を進めることなく、破線1に従って分圧 p が主流 m^* の関数として徐々に直線的に増加している。このとき反応空間内では、直流グロー放電が点火され、試料が直流噴霧されるため、臨界主流値 M^*_{DC} に達するまで供給された反応気体の大部分が、反応処理中に(a)の量 V_{DC} に応じて、噴霧された試料部分によって消費される。これによって加工材が絶縁性の反応生成物によって成膜される。

【0034】直流噴霧の場合、反応気体の主流が上述の臨界値 M^*_{DC} に達すれば、分圧が金属モードMMの値 P_{MM} から実質的に高い反応モードRMの値 P_{RM} まで跳ね上がり、そして反応主流 m^* をさらに上げると、反応気体分圧が実質的に高い水準でそこからさらに上昇する。特性曲線のこの第2の安定した経過分岐が反応モードRMである。破線で示した不安定な推移経過が推移モードUMである。

【0035】反応モードにおいて、実質的に主流には左右されない量の反応気体が量 w に応じて反応によって消費されると、試料上に絶縁性の膜が形成される。その膜は加工材ないし物体上でさらに反応によって反応気体を介して変化する。本来の反応工程ではこれ以上何も起こらないが、試料から反応生成物が噴霧される。この安定した帯域RMは、上述の試料吹き付けに基づく加工材の成膜のために、すなわちこの場合の目的に合わせれば絶

縁性の膜のために、あるいはきわめて非科学的方法でのみ利用可能である。

【0036】反応モードRMを出発点として主流 m^* が減少され、処理が金属モードMMに戻るまで、量的な特性曲線の経過は点線で示されており、ここから典型的なヒステリシス関係がわかり、この関係によって今まで周知のものに由来している。(b)では、噴霧効率 r の経過は一下向きに正の軸—反応気体主流 m^* の関数として表されている。主流 m^* の増加とともに、金属モードMMでは噴霧効率 r が下がっており、その結果、主流が増加するとともに噴霧される部分の反応度 μ が増加することは明かとなる。これは、噴霧効率が(b)で下がり、同時に(a)で反応する反応気体の部分が量 V_{DC} に応じて減少しているためである。

【0037】臨界主流 M^*_{DC} において、金属モードでは噴霧効率 r が R_{MM} から実質的に低い値 R_{RM} まで急変し、反応モードでは実質的に一定に保たれる。試料の汚染においては、金属試料上に形成された絶縁性の膜から部分的に試料が噴霧され、加工材上に堆積されるが、この部分が処理空間の反応気体をこれ以上消費することはない。十分に試料が被われると、直流噴霧処理は実質的に停止する。

【0038】グロー放電および、比較的に出力の小さい一貫して交流噴霧を用いた場合に必要となるより実質的に少ない—直流および重複する交流部分を用いた噴霧を行う場合、反応気体主流が同一でも噴霧効率 r に重大な上昇が生じ、そのために成膜効率にも相応の上昇が生じる。(b)において、このことはMM(AC+DC)の経過に対応する。このとき反応気体主流 m^* が同じであれば、交流重畳の際に噴霧効率 r が上がるため、反応する反応気体部分が増加し、主流 m^* の増加にともない金属モードMM(AC+DC)の反応気体分圧は、DCの場合よりもずっと小量しか増加しない。交流重畳において噴霧された部分と反応する、供給された反応気体の部分は、(a)では V_{AC+DC} として表されている。実質的に、処理空間内での反応気体分圧 p は、処理が安定した金属モードMMから、推移モードUMを越えて、反応モードRMに転じるかどうかを左右するものである。このとき交流重畳の場合に、分圧値 P_{MM} に達するのが実質的に遅れ、すなわち実質的に反応気体主流 M_{AC+DC} は、純粋な直流噴霧における M_{DC} よりも大きい値となる。

【0039】従って、本発明に取り入れられた工程すなわち直流および重複する交流を用いた噴霧を行うことにより、実質的に高い噴霧効率が達成されることがわかる。ここで、推移モードUMにおける処理が行われる。処理の経過に応じて、「急上昇」ないし急傾斜に関連する金属モードから反応モードへの推移は異なる。とくに本発明により認識されるのは、 s として概略的に表されているように、この推移がとりわけAC部分の出力増加にともなって水平になるよう設定できることである。こ

れによって、特定の場合では単に推移モードにおいて処理条件を固定することにより処理を行うことが可能となっている。

・【0040】図1の(a)、(b)に示されている急変化は単に解説するための特性を示しており、この推移における実際の量を表したのではないことを、この段階でもう一度確認しておきたい。この推移モードUMにおける安定化は、直流作動に関して(4)ないし(9)から知られている処理の作用期間の処理制御を介して、ただし交流重複の直流作動において、すなわち帯域UMAC+DCにおいて、たとえばXにより示されているように行われており、従って、ここでは直流作動の場合の推移モードにおいて達成される反応度 μ に比べて、推移モードUMAC+DCにおいて実質的な反応度 μ の上昇が可能となることがわかる。

【0041】(9)から理解されるのは、出力の異なる純粋な交流(AC)噴霧を使用した場合、噴霧効率および主流に関する処理ヒステリシスの経過が、(b)にしたがって生じること、そして一連の経過において、共通で座標系の原点を通過して経過する直線g上にある点が、同一の成膜反応度 μ を生じていることである。したがって、そうした直線gは実質的に反応度が同一の点となる。

【0042】DC作動の推移モードの場合と比べて、安定化された処理においては、推移モードで交流重複の直流を用いた処理実行の場合に反応度 μ を実質的に高くすることができること、これによって、実質的に使用される電気出力が直流出力か、直流および交流出力か、交流出力かに依存せずに、これ以外の実行条件が同一ならば、原点を通る直線上にあるヒステリシス経過点が、実質的に同一の成膜反応度 μ に導かれるという本発明による事実がわかる。

【0043】したがって、(b)においては、反応度は直線g₁上の経過変更点K_{DC}およびK_{AC+DC}においては実質的に同一であり、反応モードに向かって直線g₂に対応して最適化される。直線群Gを仮定することにより、図1(b)に表すように、推移モードUMにおける反応度 μ に関する等級分けが明らかになる。処理作用点を、上述の処理制御ないし処理安定化に基づいて、反応モードRMにおける推移の近傍に設定してもよいが、簡単にいえば、これと関連して間隔Dを守らなければならない、望まれないたとえば回避することのできない制御誤差が反応モードに影響を及ぼし、処理環境が突然変化しないようにするためである。作用点が不所望に反応モードRM内へ短時間でもずれると、処理の明確な転換が反応モード内にずれ込む。

【0044】しかし、この段階では、本発明による推移モードUMAC+DC内での交流重複直流を用いた処理を実行する場合、DC作動での $\mu_{\max DC}$ よりも実質的に高い成膜反応度 $\mu_{\max AC+DC}$ が達成できることが基本的に認識

されている。このように、推移モードで安定化されるDC作動に比べて、本発明によればAC+DC作動において高い反応度 μ が上述の安定化に基づいて、とくに制御によってきわめて安定したものとなり、そのため加工材の成膜が均質に達成される理由は説明できる。

【0045】作用点Xは、とくに推移モードにおける制御によって安定化され、(b)に二重矢印Tを用いて示すように、推移モードでは所望の反応度 μ にしたがって設定され、直流作動および同一の噴霧効率rにおける場合よりも常に高い。反応度は、ここから上限値付近まで抑制され、 $\mu_{\max AC+DC} < \mu_{\max DC}$ に対応するよう設定できる。

【0046】以上に説明したように、これまでの説明は図1にしたがって、とくに推移モードUMにおける周知かつ推定上の処理経過に基づくものである。本発明により、さらに認識されるのは、本発明による作動の場合には処理作用点が金属モードの近くに設定されたときに、推移モードでは常に、最適な高さの成膜効率で処理を実行することができ、少なくとも化学両論に基づいた膜が得られることである。その際、反応を用いない同じ試料材を用いたDC噴霧によって得られる金属ないし導電性の膜の噴霧エネルギーあたりの膜体積に対する、本発明により得られる膜の噴霧エネルギーあたりの膜体積によって得られるエネルギー活用比率は、活用比率 ≥ 1 となることである。

【0047】このとき、少なくとも本発明の推移モードにおける作動では、噴霧効率rが反応気体主流m*の関数として、同様に反応気体の分圧pが反応気体主流m*の関数として、量的に図1に点で示した経過に合致していることが観察される。従って、金属モードMMAC+DCの付近では、高い噴霧効率およびそれにともなう成膜効率が優勢であり、反応気体主流は高いが、この主流の関数として、実質的に反応分圧は一定である場合に限る。直線1および分圧経過の間での過剰は、反応される気体の量に対してかなりの量となり、そのために高い反応度 μ では、処理作用点X_Aを金属モードの近くに設定する場合には、噴霧率rを最適な状態で高く維持することができることは明白である。前述したように、この場合、反応気体消費量—主流m*の場合—が高く、その証拠に反応度 μ が高い。望ましい作用点の状態は、図1にX_Aとして量的に示されている。

【0048】本発明による直流交流噴霧と推移モードUMにおける処理作用点X_Aの選択によって、高い成膜効率において金属モードの付近でできるかぎり高い成膜度 μ を維持するため、直流作動時において推移モードで安定化された処理に反して、実質的に高い成膜度が高い成膜反応度 μ とともに達成されることは長所といえる。高速制御系を用いることによって、作用点が金属モードあるいは場合によっては反応モードに移行するのが防止される。

【0049】図2では、本発明による方法を実施するための装置が概略的に示されている。たとえば素地上に設けられた枠体を備えた真空室10内では、加工材運搬器11が加工材とともに配置されている。加工材運搬器11と対面して、試料支持器12が噴霧されるオーミック導電性の素材からなる試料14とともに配置されている。試料14は支持器12上で電源16によって操作され、電源は直流信号DCを重複する交流信号ACとともに供給する。加工材運搬器11と試料14の間に形成され、陽極として働く暗室保護器18を備えた反応室A内に、概略的に示されているように導入システム20が作用気体の吸入口とともに通じており、その中に酸素のような反応気体ないし気体混合物が含まれている。50Hzから250kHzまでの周波数、望ましくは10kHzから200kHzの周波数が、電源16のAC部分として特に適しているのは明らかである。

【0050】しかし処理に応じて、交流部分ACはパルス部分として、純粋にサインとして、あるいは2つ以上の周波数を有する重複したサイン信号として発生される。これらは100Hz、あるいは10Hzからマイクロ波帯域までの周波数で、望ましくは15MHzまでのものとする。試料は、とくに本発明によれば、結晶化されて取り込まれた、あるいは流し込まれた三燐化Si試料であり、0.01Ωcmから100Ωcmまで、望ましくは0.01Ωcmから1Ωcmまでの導電性を有するものとする。AC出力は実質的にDC出力よりも低く、経済性のよい半導体素子に基づく参照番号16の発生装置の使用が可能なものとする。

【0051】吸入装置20には図示しない容器から上述の気体ないし気体混合物が供給される。さらに、概略的に示された吸入構造32によって、作用気体とくにアルゴンが別個に供給され、またたとえば仕切られている反応室Aへも、試料の近傍にも、あるいは直接的に反応室内へも、(4)から周知となっているような所望の処理に応じて、同様のことが行われる。電源16によって反応室内でグロー放電が起こされ、試料14が噴霧される。噴霧された部分はグロー放電状態の処理室A内で反応気体と反応し、導電性の低い、たとえば絶縁性の反応物質が、とくに加工材運搬器11の加工材13上に堆積される。

【0052】さらに概略的に示すように、噴霧および成膜処理を安定化するための制御回路が設けられている。この制御回路にはIST値検知器22が含まれており、とくに以下の事項を一つ以上満たす感知器を含んでいる。即ち、光学系であり、吸収感知器、放射感知器、蛍光線観測検知器であり、出願人が販売している光線発射受光感知器であり、放電インピーダンス感知器であり、分圧測定感知器であること、である。

【0053】IST値検知器の出力信号は選別および判定ユニット24、26に供給される。信号選別の後に、

IST値信号sは差別化ユニット28に送られる。ここで差Δは、ユニット30で調整可能である、設定されたSOLL値Wに関連して発生される。制御差Δは、制御反応の最適化を行うための調整器(図示せず)を介し、調整値として処理量に加えられ、この量だけ即座に反応が生じる。対応する調整を伴う調整値としては、以下の事項のうち一つ以上が設定されていれば望ましい。出力DC(電流ないし電圧)、出力AC(電流振幅ないし電圧振幅)、周波数AC、周波数スペクトルAC、比率出力AC/出力DC、反応気体主流、気体混合、作用気体主流、である。

【0054】図2では、DC部分およびAC部分および、バルブ32aを介した反応気体主流について示されている。制御回路によって、すでに説明したように、推移モードUMMA+DCにおける噴霧および成膜処理が安定化されていれば望ましい。試料帯域においてプラズマ濃度をさらに上げ、その結果として噴霧効率を上げるために、周知のように設けられた磁界Bによって概略的に示すように、試料14を磁力源によって操作する。

【0055】試料噴霧を行う従来の成膜装置に対して、ここでは試料が直流および交流を用いて実行され、また処理作用点を制御によって安定化させるために高速の制御回路が設けられていれば望ましい。本発明により達成された反応度μが場合によって得られないときには、加工材13の成膜が後から反応される。これは、室10で膜が反応気体中でグロー放電を伴う場合であっても伴わない場合であっても後から反応が行われるのであり、望ましくは追加して供給されたエネルギーの作用下で、たとえば対応する接続装置を用いて以下のようなエネルギー要素によって行われるのが望ましい。即ち、光(レーザー、UV)、イオン光線、電子光線、熱、プラズマ、HFあるいはマイクロ波、である。

【0056】加工材運搬器は固定されるか、あるいはゆっくりあるいは断続的に作動され、望ましくは回転される。その際、一貫して可能であるが部分的に望ましいのは、図2に示す装置を「後からの反応」段階と同列のものとして結び付け、噴霧成膜後、室10側に切り換えられた後からの反応段階に加工材13を移すことである。周知の圧力減結合がロックであろうと単なる圧力段階によるものであろうと、周知の圧力減結合によって、処理室A内でさらに進行する処理圧力の減結合を、そうした後からの処理段階において反応気体の圧力によって達成することができる。

【0057】したがって本発明の方法ないし本発明の装置は、不安定な推移モードではいずれの任意の作用点においても、また、とくに金属モードへ移行する近辺では安定に作動することができ、処理作用点がグロー放電供給の変動、反応気体圧力の変動、試料素材の不均質などのような妨害量の影響によって、仮に短時間ずれたとしても大幅にずれて金属モードで反転することのないよう

保証するものである。

【0058】図3には、本発明に使用される制御回路のブロック図が示されている。この図は上述した作用点値の制御それぞれに対応するものであり、影響力のある調整パラメーターの複雑さおよび多用性に基づいて、周知の状態制御が一貫して制御方法に適用できる。基本的にSOLL値Wは状態条件ユニット40ないしSOLL値条件ユニットにあらかじめ設定されており、比較ユニット42においてフィードバックされた測定IST値X'と比較される。場合によっては、制御差Δが調整器を介して調整成分ユニット44に影響を及ぼし、ユニット44が最終的に少なくとも一つの値を設定し、この値が処理作用点に影響を及ぼす。46においては処理が制御線分として表され、作用点Xは制御された値となる。その後測定ユニット48で捕捉され、測定ユニット48の出力信号は調整器50を介して測定制御値X'として比較ユニット42にフィードバックされる。

【0059】作用点Xないし X_A を許容できないほど大幅にずらす可能性がある妨害値Sは、設定成分44と処理46の間に取り入れられる。G(S)は各々の変換関数であり、Sは専門家にとっては周知であるが、ラプラス変換の変数を示す。図4に示すように、本発明に使用する制御系は、開いた制御回路に、すなわち状態条件ユニット40つまりW(図3)と図3に記した切り開かれている点Pとの間で増幅を行わねばならず、増幅は周波数が実質的に1(0dB)より大きくなるまで行われ、ここで図4に示すような妨害値Sが発生する。この条件が満たされていれば、妨害値Sは急激に制御され、作用点Xを決定的にずらすことはできなくなる。

【0060】実質的に図2に示されている装置および以下の通りに設定された処理パラメーターを用いて、同じく以下に示された結果が、後からの反応を行うことなく得られる。

(例)

出力DC	2 kW
出力AC	0.5 kW
周波数AC	200 kHz
試料電圧	-345 V
試料電流	7.2 A
アルゴンガス圧力	$8 \cdot 10^{-3}$ mbar
アルゴンガス主流	16.5 sccm
O ₂ 分圧	10^{-4}
試料物体間隔	60 mm
試料	導電性 $<0.5 \Omega \text{ cm}$
燐化合物Si	
AK 510 SI型	
磁力システム	MA 510
噴霧時間	1080 秒
膜厚	583 nm
基板(物体)用	

バスケット	$\phi 400 \text{ mm}$
バスケット側効率	0.54 nm/秒
回転周波数	0.3 Hz
ダイナミック比率	$\text{DDR} = 60.5 \text{ nm} \cdot \text{mm}^2 / \text{Ws}$
エネルギー活用	$0.6 (\text{nm/s}) / (\text{W/cm}^2)$

$\lambda = 633 \text{ nm}$ における

SiO₂ 分解値 $n = 1.465$

$\lambda = 633 \text{ nm}$ における

SiO₂ 吸収係数 $k < 10^{-4}$

$\lambda = 382 \text{ nm}$ における

SiO₂ 吸収係数 $1.5 \cdot 10^{-4}$

Fth = 2.5 $F_{\text{exp}} = 1.2$

結論は以下のとおりである。

【0061】加工材に自然と形成される膜に対し高い反応度が強く有利な効果を現し、試料については-DCの場合強いが不利な効果を現し、反応気体の膜が増強されて形成され、この膜が試料を汚染する。AC+DC放電については成功し、純粋なDC放電に対して、きわめて効果的に試料が噴霧され、加工材側に絶縁性の膜が形成される。強い反応度勾配が試料と加工材の間に生じる。試料側の低い反応度すなわち効率の低い反応気体膜形成がAC噴霧の持続によって高い効率に上がり、加工材側の高い反応度によって均質な化学量論に基づく膜形成が行われる。

【0062】この勾配では、「消費された費用あたりで形成される膜体積」によって決定されるエネルギー活用量を、金属膜のDC堆積(無反応)におけるエネルギー消費に対し、反応により形成される膜の堆積においては係数Fthに関し論理的に改善することが可能となる。論理的に最適なものとして可能な(Fth)改善および実験上測定された(Fexp)改善は以下の関係を満たす。

【0063】

$F_{\text{th}} = (M_r / M_m) / (D_r / D_m)$

$F_{\text{exp}} = (V_r / E_r) / (V_m / E_m)$

(M_r =反応により形成される膜のモル重量、 M_m =金属の原子重量、 D_r ないし D_m は反応により形成された膜ないし金属膜の厚さであり、 V_r ないし V_m は反応により形成された膜ないし金属膜の堆積、 E_r ないし E_m は反応処理ないし金属噴霧処理での噴霧におけるエネルギー消費である。)これまでの無反応金属噴霧ではエネルギー活用が大きく、大抵の場合実質的に反応気体噴霧の場合よりも大きかった。本発明によれば、反応気体噴霧におけるエネルギー活用が金属噴霧の場合よりも大きい。

【0064】そのため本発明の方法および装置は、AlないしSi試料からのAl₂O₃ないしSi₃N₄膜の製造に適しており、とくにSi試料とりわけ本発明によ

ればSi化合物試料からの SiO_2 膜の製造に適している。また本発明によれば、他の導電性のないあるいは低い膜を上述べた利点とともに製造することもできる。エネルギー活用度の決定については、試料素材自体が比較ペースとして無反応噴霧に用いられていない。

【0065】図5および図6では、本発明によるシリコンの噴霧における噴霧特性曲線(a)、(b)、(c)が表されており、特に望ましい SiO_2 膜を本発明により製造した場合を示している。図5では、第1の座標系では左垂直座標軸に反応気体 O_2 の主流 m^* に対するシリコンの濃度 I をパーセント表示している。シリコンの濃度 I (254nm)は、シリコン試料の噴霧効率 r に比例する。この処理は図2を参照して説明した装置において実行される。反応気体主流 m^* に対する噴霧効率 r の特性の経過は(a)に表されている。ここに記されている点は測定点である。経過(a)は矢印の方向に進行する。さらに、金属モードMM、推移モードUM、そして反応モードRMが示されている。

【0066】図6における第2の座標系では、同じく反応気体 O_2 の主流 m^* に対する O_2 の分圧が右垂直軸に表されており、その零点はアルゴンガスの圧力に対応している。ここでも特性(c)が矢印方向に進行しており、測定点は m^* により表されており、同様に金属モードMM、推移モードUMならびに反応モードRMが記されている。

【0067】図5における第2の座標系では、反応気体主流 m^* に対する試料側で測定した電圧 U_{sb} の経過が右垂直軸に表されている。ここでも測定点ならびに特性曲線が進行する方向は、測定点から測定点へ進むように記録されている。したがって、ここに表された処理では、質的な面ではすでに図1に点線で表している経過が確認される。とくに推移モードUMにおける特性経過上に、どこでシリコン直線濃度 I と比例して噴霧効率 r が

反応気体主流 m^* の関数として増加し、同時にこの推移モードUMにおける幅広い帯域を越えて、反応気体 O_2 の分圧 p が反応気体主流 m^* の関数として一定に維持されるのか示されている。

【0068】図5および図6では、例としてかつ望ましいものとして本発明の成膜処理に選択された作用点が記録されており、 X_A として示されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の措置を品質的な工程特性曲線に基づいて示す。

【図2】本発明による装置を概略的に示す。

【図3】本発明による制御のブロック切替図である。

【図4】本発明の制御の基本的ダイアグラムである。

【図5】左垂直軸にSi噴霧効率と比例するSi濃度、水平軸に反応気体 O_2 の主流、右垂直軸にSi試料の電圧、水平軸に反応気体 O_2 の主流を示す。

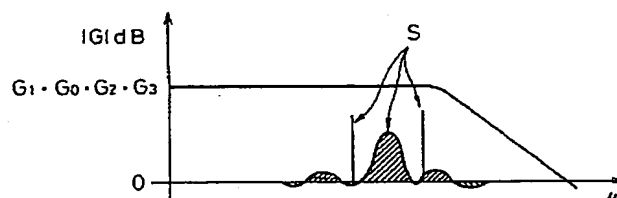
【図6】図は、左垂直軸にSi噴霧効率と比例するSi濃度、水平軸に反応気体 O_2 の主流、右垂直軸に反応気体 O_2 の分圧、水平軸に反応気体 O_2 の主流を示している。

【符号の説明】

- 10…真空室
- 11…加工材運搬器
- 12…支持器
- 13…加工材
- 14…試料
- 16…電源
- 18…暗室保護器
- 20…吸入装置
- 22…IST値検知器
- 24, 26…判定ユニット
- 28…差別化ユニット

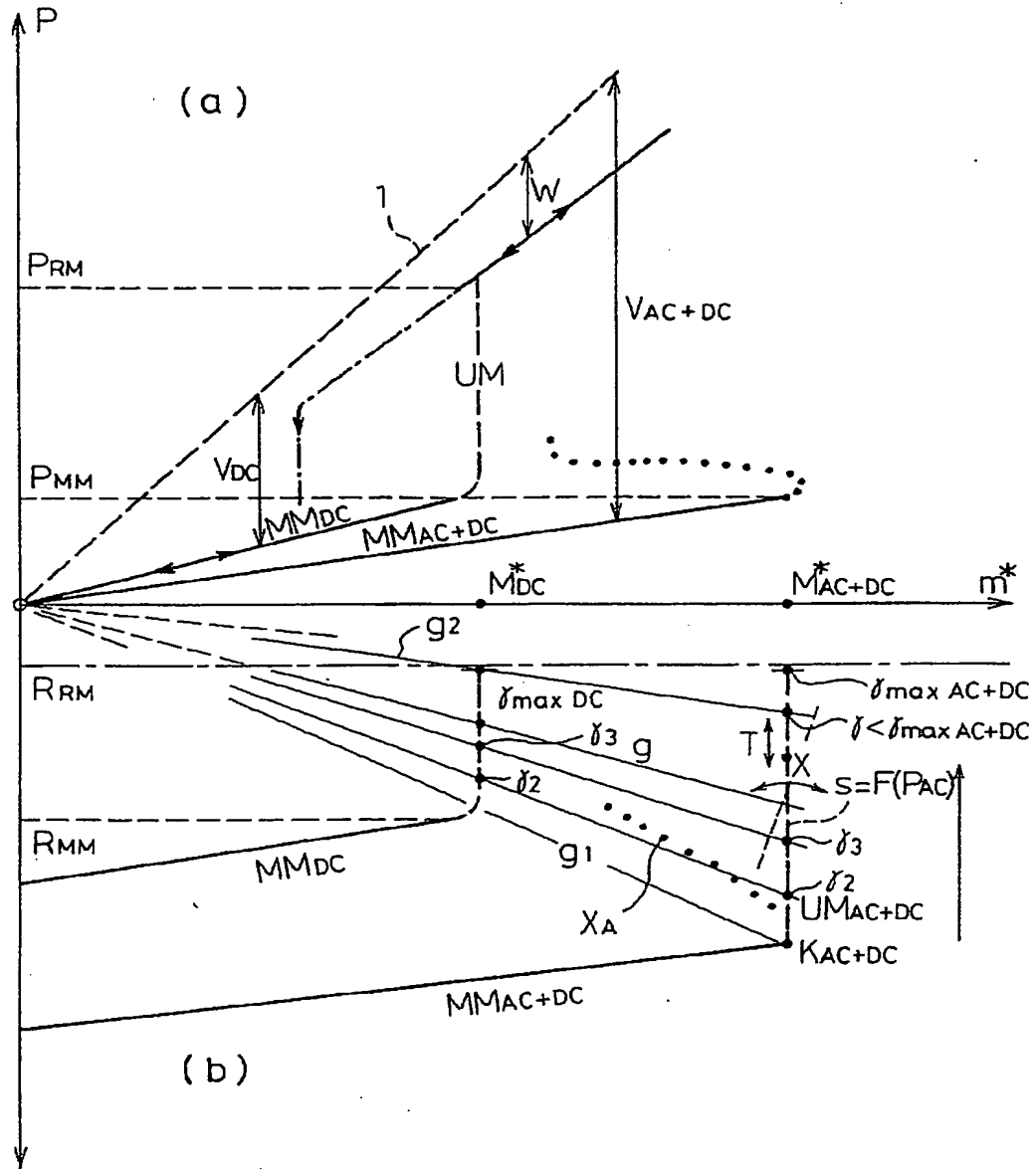
【図4】

本発明の制御の基本的ダイアグラム

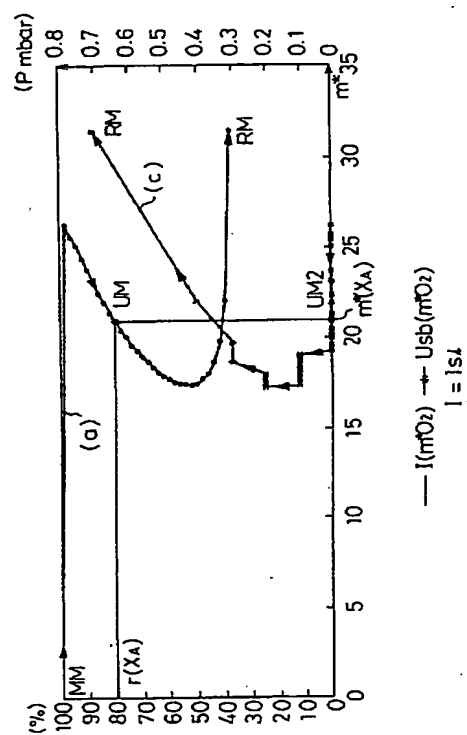


【図1】

本発明の措置の品質的な工程特性曲線



【図6】

S1. 濃度、気体O₂、分圧等の関係説明図

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.